

УДК 621.375.018.756

## ЭЛЕКТРОННАЯ РЕГУЛИРОВКА ГРОМКОСТИ В УСИЛИТЕЛЕ ЗВУКОВЫХ ЧАСТОТ

В.И. Туев, С.В. Худяков

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

E-mail: tvi@tv2.tomsk.ru

Описан усилитель с электронной регулировкой усиления по последовательному интерфейсу. Диапазон рабочих частот усилителя при неравномерности частотной характеристики 1 дБ 30 Гц...55 кГц; выходная мощность 1,025 Вт на сопротивлении нагрузки 8 Ом; коэффициент усиления по напряжению 20,5 дБ; глубина регулирования усиления 53 дБ; максимальное среднеквадратическое значение входного сигнала 2 В; отношение сигнал-шум при максимальной громкости 65 дБ; отношение сигнал-фон 95 дБ.

Усилители с электронной регулировкой коэффициента передачи применяются в устройствах обработки звуковых сигналов [1], измерительной [2] и импульсной технике [3]. Управление значением коэффициента усиления может осуществляться в параллельном коде [1, 2], по шине I2C [4]. При наличии в устройстве микроконтроллера и блоков, управляемых по трехпроводному синхронному последовательному интерфейсу, регулируемый усилитель удобно управлять таким же способом, используя мультиплексирование шин передачи данных.

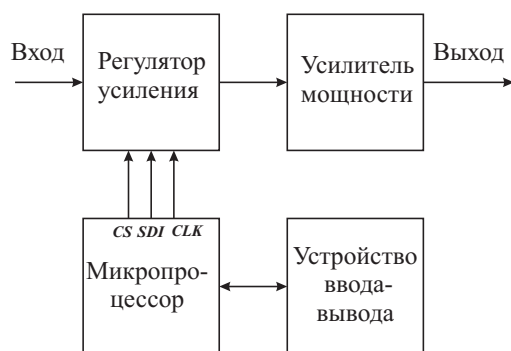


Рис. 1. Функциональная схема усилителя

Функциональная схема усилителя звуковых частот с электронной регулировкой коэффициента передачи по синхронному последовательному интерфейсу приведена на рис. 1. Усилитель содержит последовательно соединенные регулятор усиления и усилитель мощности, микропроцессор и устройство ввода-вывода.

Регулятор усиления выполнен на базе цифрового электронного потенциометра [5]. Микропроцессор анализирует состояние управляющих кнопок устройства ввода-вывода, формирует сигналы последовательного интерфейса *CS*, *SDI*, *CLK* для управления регулятором и выводит на экран устройства ввода-вывода информацию о текущем значении коэффициента передачи в удобном для прочтения виде.

Значение коэффициента передачи регулятора усиления задается программно путем записи микропроцессором цифрового кода во внутренний управляющий регистр цифрового потенциометра. Потенциометр является восьмиразрядным устрой-

ством и позволяет программно задавать одно из 256 значений коэффициента передачи. В связи с тем, что различие между соседними градациями громкости меньше порога заметности изменения громкости для человеческого слуха, а также для возможности оперативной регулировки усиления в широких пределах, из 256 значений выбран 21 относительный показатель громкости (от 0 до 20). В соответствие каждому значению относительного показателя громкости поставлен коэффициент передачи и соответствующий ему код для записи в управляющий регистр цифрового потенциометра (см. табл.). Поскольку особенностью слуха человека является логарифмическая взаимосвязь между возрастанием интенсивности аудиосигнала и субъективным ощущением его громкости [1], то для линеаризации этой зависимости относительный показатель громкости связан с коэффициентом передачи цифрового потенциометра по показательному закону.

Таблица. Соответствие значений относительного показателя громкости *N*, вносимого ослабления и кода для записи в управляющий регистр цифрового потенциометра

<i>N</i>	Ослабление, дБ	Код
0	53	000h
1	48	001h
2	42	002h
3	38	003h
4	34	005h
5	31	007h
6	28	00Ah
7	26	00Dh
8	24	010h
9	22	014h
10	20	01Ah
11	18	020h
12	16	028h
13	14	033h
14	12	040h
15	10	051h
16	8	065h
17	6	07Fh
18	4	0A1h
19	2	0C9h
20	0	0FFh

При включении напряжения питания схемы (рис. 1) во время инициализации программы ми-

кропроцессора в цифровой потенциометр записывается код  $01Ah$ , соответствующий значению коэффициента передачи регулятора равному  $-20$  дБ. В процессе работы усилителя текущий относительный показатель громкости по выбору пользователя с помощью кнопок устройства ввода-вывода может быть уменьшен или увеличен в пределах от 0 до 20 с шагом 1. При этом установленный относительный показатель громкости индицируется на экране устройства ввода-вывода и во внутренний управляющий регистр цифрового потенциометра записывается соответствующее значение согласно таблице. Данная запись производится по последовательному интерфейсу через сигнальные линии  $CS$ ,  $SDI$  и  $CLK$ . Эпюры напряжений сигналов во время записи показаны на рис. 2, причем высокому уровню соответствует состояние логической единицы, низкому – состояние логического нуля.

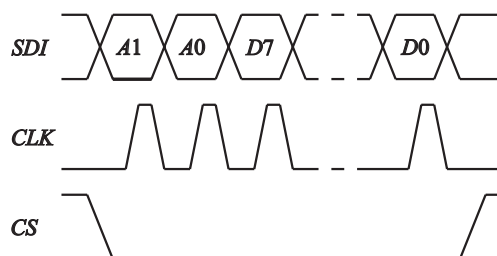


Рис. 2. Эпюры сигналов записи в цифровой потенциометр

Цифровой потенциометр переходит в состояние готовности приема данных по перепаду сигнала  $CS$  из высокого логического уровня в низкий. Далее микропроцессор последовательно выставляет 10-битный код на линии  $SDI$ , записывая каждый бит во внутренний управляющий регистр цифрового потенциометра перепадом сигнала  $CLK$  из низкого логического уровня в высокий. Первые два бита в последовательности данных ( $A1$  и  $A0$ ) определяют адрес потенциометра в микросхеме и в данном случае всегда равны нулю. Остальные восемь бит ( $D7-D0$ ) представляют собой однобайтовое значение, выбираемое микропроцессором из таблицы для устанавливаемого значения коэффициента передачи и передаваемое со старшего бита.

Усилитель мощности выполнен по мостовому типу на микросхеме двухканального усилителя [6]. Схема электрическая регулятора и усилителя мощности приведена на рис. 3.

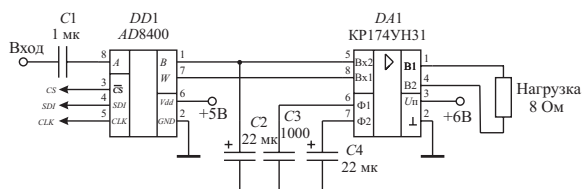


Рис. 3. Электрическая схема регулятора и усилителя мощности

Сигнальные выходы цифрового потенциометра  $A$ ,  $B$  и  $W$  находятся под действием постоянного напряжения, равного половине напряжения питания усилителя мощности  $U_n$ . Это обстоятельство об-

условлено элементами схемы усилителя мощности [6]. С целью исключения влияния цепей источника сигнала на режим работы по постоянному току регулятора и оконечного усилителя в схему введены разделительный конденсатор  $C1$  и блокировочные –  $C2$ ,  $C4$ . Конденсатор  $C3$  – корректирующий.

Зависимость коэффициента гармоник  $K_g$  усилителя от выходной мощности  $P_{\text{вых}}$  при относительном показателе громкости регулятора  $N=20$  (минимальное ослабление) приведена на рис. 4. Среднеквадратическое значение напряжения входного сигнала, соответствующее максимальной выходной мощности, равно 275 мВ.

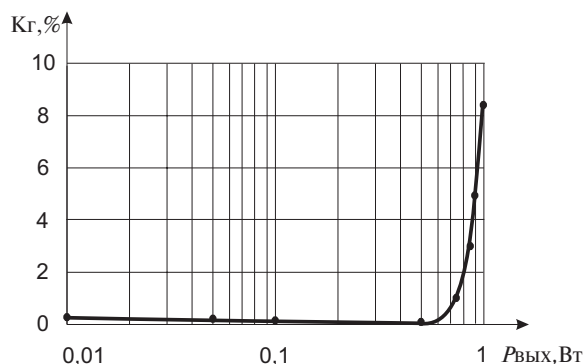


Рис. 4. Зависимость коэффициента гармоник усилителя от выходной мощности

Зависимость коэффициента гармоник усилителя от напряжения входного сигнала  $U_{\text{вх}}$  (среднеквадратическое значение) при постоянной выходной мощности приведена на рис. 5. Измерения проводились при  $P_{\text{вых}}=0,5$  Вт, т.е. в точке минимального значения  $K_g$  на рис. 4.

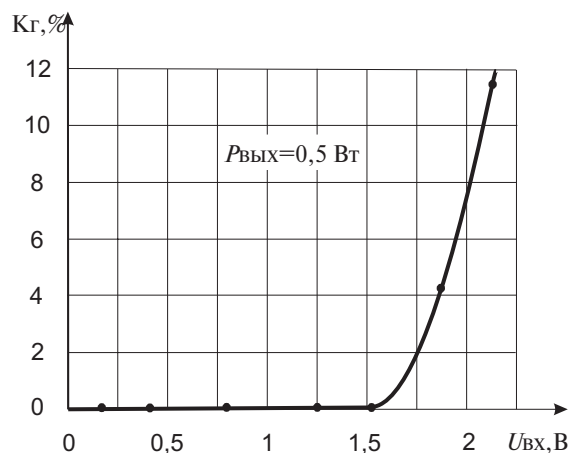


Рис. 5. Зависимость коэффициента гармоник усилителя от среднеквадратического значения напряжения входного сигнала

В результате анализа приведенных зависимостей и условий измерения установлено, что график на рис. 4 обусловлен параметрами усилителя мощности, а кривая на рис. 5 определяет вклад в результирующий коэффициент гармоник, вносимый регулятором усиления на электронном потенциометре. Из рис. 5 следует, что электронный потенциометр

метр имеет коэффициент гармоник, не превышающий 10 % при среднеквадратическом значении входного сигнала менее 2 В.

Технические параметры усилителя с электронной регулировкой усиления по последовательному интерфейсу: диапазон рабочих частот при неравномерности частотной характеристики –1 дБ и выходной мощности 10 мВт 30 Гц...55 кГц; выходная мощность

при  $K_f=10\%$  на частоте 1000 Гц 1,025 Вт и сопротивлении нагрузки 8 Ом; коэффициент усиления по напряжению при относительном показателе громкости регулятора  $N=20$  на частоте 1000 Гц 20,5 дБ; глубина регулирования усиления 53 дБ; максимальное среднеквадратическое значение входного сигнала 2 В; отношение сигнал-шум при максимальной громкости 65 дБ; отношение сигнал-фон 95 дБ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Звуковое вещание / А.В. Выходец, П.М. Жмурин, И.Ф. Зорин и др.: Справочник. – М.: Радио и связь, 1993. – 464 с.
2. Андреев О.С., Андрух О.П., Бохонко Б.А. Измерительный усилитель с цифровым программированием коэффициента усиления // Приборы и техника эксперимента. – 1989. – № 3. – С. 122–124.
3. Елисеева В.В., Ильинский Г.В., Кузнецов О.Л. и др. Импульсный усилитель с цифровым управлением коэффициентом усиления // Приборы и техника эксперимента. – 1986. – № 2. – С. 122.
4. Семенов Б.Ю. Шина I2C в радиотехнических конструкциях. – М.: СОЛОН-Пресс, 2004. – 224 с.
5. [http://www.analog.com/UploadedFiles/Data\\_Sheets/248207866AD8400\\_2\\_3\\_c.pdf](http://www.analog.com/UploadedFiles/Data_Sheets/248207866AD8400_2_3_c.pdf)
6. <http://www.angstrem.ru/pdf/kr174yn31.pdf>